海洋科学技術センター試験研究報告　JAMSTECTR　21（1989）

ドルフィン－3K用追跡・監視システムの開発

高橋賢一*1　服部陸男*1　野本昌夫*1
青木太郎*1

無人探査機ドルフィン－３Ｋのオペレーションを安全かつ効率的に実施するために追跡監視システムを開発した。本システムは，ドルフィン－３Ｋのビークルオペレータ及びその指揮者等が，ビークルの操縦について適切な判断と指示を行うために必要な情報を与える情報処理表示装置である。すなわち，既存のビークルオペレーションシステムで集収されたデータから，ビークル，テザーケーブル，海底ビーコン及び支援母船の位置関係等を容易に把握できるような情報としてリアルタイムで演算表示させる装置である。本システムは，パーソナルコンピュータとその入出力機器及び通信演算用プログラム等のソフトウェアから構成されている。本システムは，1987年４月から1988年８月の間に，支援母船「かいよう」ならびに「なつしま」で行われた数十回のドルフィン－３Ｋの運用において，ソフトウェア等の改造，修正がなされ実用となった。

キーワード：ビークルの追跡，テザーケーブル，ドルフィン－３Ｋの運用

Acoustic Position Tracking and Monitoring System for DOLPHIN-3K

Ken-ichi TAKAHASHI*2　Mutsuo HATTORI*2
Masao NOMOTO*2　Taro AOKI*2

An acoustic tracking and monitoring system was developed for safe and effective operation of the DOLPHIN-3K. This system is composed of data processing and displaying devices which provide position information for appropriate operational decisions and instructions to vehicle operators and a commander. The system provides CRT displays of real time vehicle-tracking, tether cable monitoring and 3-dimensional positions of the vehicle, transponders and the support vessel. The system is composed of 2 Personal Computers with input/output devices and software which consists of the programs for communication and computation. The system was made practically use after the repeated improvement during training operation of the DOLPHIN-3K aboard support vessels "KAIYO" and "NATSUSHIMA" during April 1987 to August 1988.

*1　深海開発技術部
*2　Deep Sea Technology Department

Key word: acoustic position tracking, tether cable monitoring, DOLPHIN-3K, vehicle tracking, ROV operation

1. はじめに

有人潜水船「しんかい2000」の事前調査と救難のために開発建造された無人探査機ドルフィン－３Ｋは，1987年に完成した。その後，当センターの海中作業実験船「かいよう」で性能及び運用試験等が行われ，さらに潜水船支援母船「なつしま」において運用訓練が行われた。これらの運用経験から，無人探査機ドルフィン－３Ｋのオペレーションをより安全かつ効率的に実施するために，ビークルの操縦を支援する追跡監視システムの開発が必要であることがわかった。

本システムは，ドルフィン－３Ｋのビークルオペレーター及びその指揮者等に，ビークルの操縦について適切な判断と指示が行えるような情報を提供するものである。すなわち，既存のビークルオペレーションシステムで収集されたデータを，容易に把握できるような情報にリアルタイムで演算表示するシステムであり，しかも既存の装置において最小限の改造ですむものでなければならない。

本報告では，最初にドルフィン－３Ｋ用音響測位システムの概要について述べ，次に本追跡監視システムの必要性，構成ならびに機能について述べる。なお，ドルフィン－３Ｋの全体システムならびにその運用方法等の詳細については，文献1)，2)を参照されたい。

2. ドルフィン－３Ｋ用音響測位システムの概要

ドルフィン－３Ｋのオペレーションシステムは，独立した専用の音響測位装置を持っておらず，支援母船の測位装置にドルフィン－３Ｋ用の受信機等がテンポラリーに付加されたものとなっている。したがって，その基本的な運用形態は支援母船である「なつしま」または「かいよう」の音響測位装置によって決定されている。

図１にドルフィン－３Ｋの音響測位システムの概要を，表１にその概略仕様を示す。測位の原理は主にＳＳＢＬ方式（スーパーショートベースライン）によるもので，支援母船に設置されている

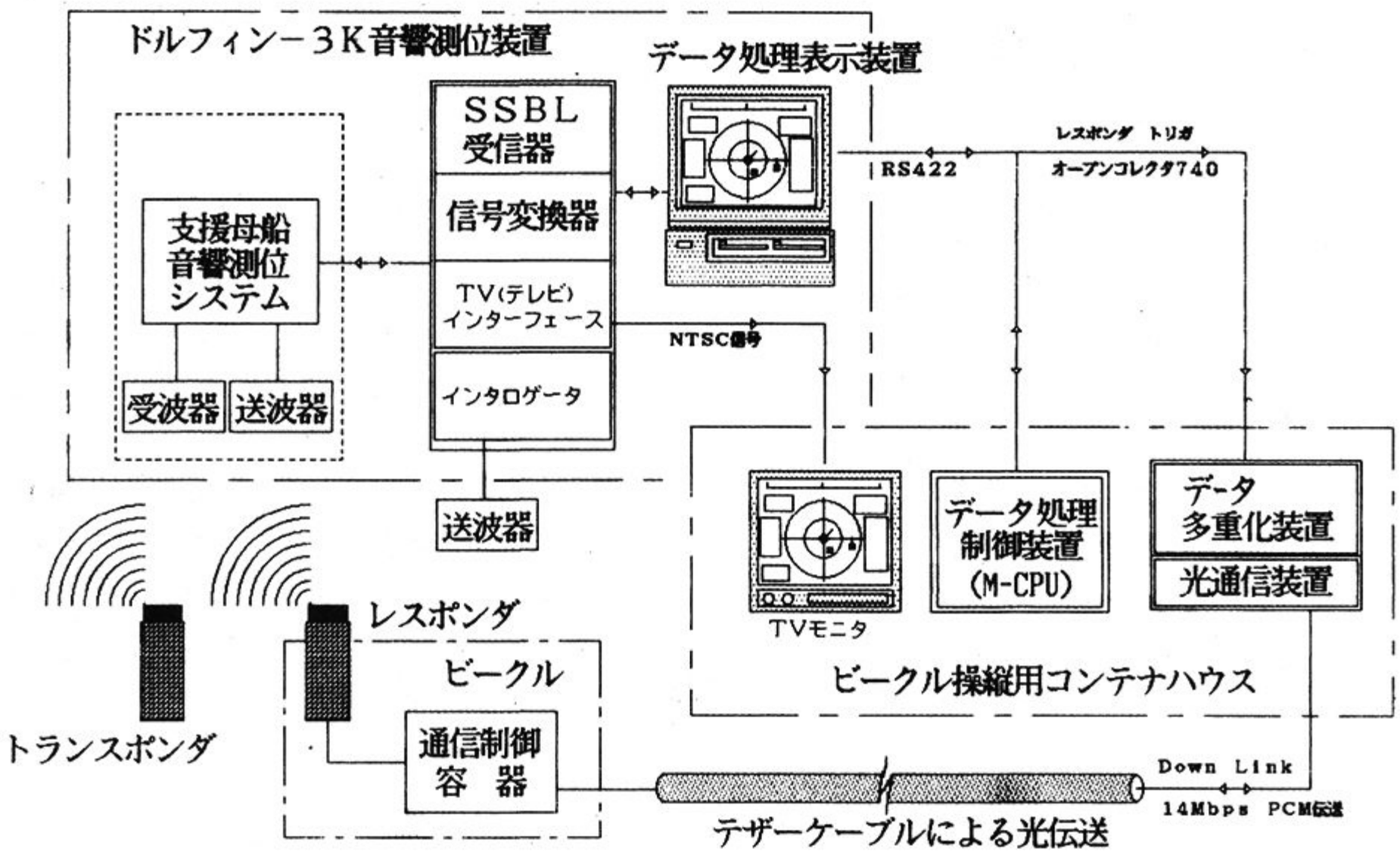


図１　ドルフィン－３Ｋ音響測位システムの構成

Fig. 1　An acoustic positioning system for Dolphin−3K

表1　ドルフィン－3K音響測位装置の性能

Table.1　Specifications of an acoustic positioning system for Dolphin－3K

1、測位方式	スーパーショートベースライン方式 （ＳＳＢＬ方式）
2、SSBL受信機の受信周波数	
(1)　トランスポンダ	１３ｋ、１３．５ｋ、１４ｋ、 １４．５ｋ、１５ｋＨｚ
(2)　レスポンダ	１５．５ｋＨｚ
3、インタロゲータの送信周波数	６．５ｋ、　７．０ｋ、　７．５ｋＨｚ 但、「かいよう」における”しんかい2000”の 救難時にのみ使用する。
4、同時測位音源数	２　チャンネル
5、測位範囲	水平距離において 深度の１００％以内
6、測位精度	水平成分の標準偏差で スラント距離の１．４％以内
7、最大スラント距離	５０００　ｍ

受波器からビーコンの測位信号を支援母船の測位装置系と並列に取り込み，３K用の受信機で信号処理等を施した後，測位データを数値で同受信機の盤面上に表示している。さらに，この測位データはデータ処理表示装置であるパーソナルコンピュータ（以下ＰＣという）によって支援母船を基準とした平面座標に作画され，ビークルに関する一部の数値データと共にＣＲＴ画面に表示されている。この測位画面の表示は，ビークル操縦用コンテナハウス内の総合操作盤上のモニターテレビ等へも伝送されている。なお，測位画面の他に，ビーコンの測位と母船方位等のデータは３Ｋ用の測位装置から同コンテナハウス内のデータ処理装置へ，またビークル方位等のビークルに関する一部のデータはビークルデータ処理制御装置から３K用測位装置のデータ処理表示用ＰＣへ，それぞれRS－422及びRS－232C通信回線を介して送受信されている。また，これらのデータはＰＣのフロッピーディスクへ収録されている。

一方，音響ビーコンは，ビークル用にレスポンダを，テザーケーブルの追跡用と海底設置用にはトランスポンダを使用している。トランスポンダは支挺母船の送波器からの音響質問信号によって応答する。それに対して，レスポンダはビークルシステムのテザーケーブルによるＰＣＭ光通信回線を介した質問信号によって応答する。したがって，レスポンダの質問信号は種々の音響雑音（特にビークル自身のもの）の影響を受けないため安定した測位が行える。表２にレスポンダの性能を示す。なお，このレスポンダの電源は外部から給

表2　ドルフィン－3K用音響ビーコンの性能

Table.2　Specifications of an acoustic beacon for Dolphin－3K

1、ビーコン方式	レスポンダ方式	（質問信号はテザーケーブルを介して伝送）
2、送信周波数	１５．５　ｋＨｚ	（送信パルス幅10msec）
3、送信音圧	９４ｄＢ(re 1μbar at 1m)　以上	
4、受信信号	レスポンダトリガ(10msec ｵｰﾌﾟﾝｺﾚｸﾀ740)	
5、ピンガーモード	*) 発信周期　６０　ｓｅｃ 発信寿命　3.6＊10^4回（25日）	
6、耐水圧	３７６　ｋｇｆ／ｃｍ^2	
7、外形	８６０ mm L、　１５５ mm φ	
8、重量	２２ kg(空中)、１２ kg(水中)	

*）レスポンダへの外部給電が断の時、ピンガーモードに切換わる。

電されているため，その電源が途絶えた時，すなわちビークルのテザーケーブルが切断された時は，自動的にピンガモードに切り替わり，発信する。その発信寿命は約25日間である。

なお，ドルフィン－３Ｋ用音響測位装置の詳細については文献３）を参照されたい。

3.　追跡監視システムとして必要な機能

ドルフィン－３Ｋの操縦は，移動可能なコンテナハウス内の総合操作盤で行われる。この総合操作盤は，ビークルのテレビカメラの映像を表示するモニターテレビを中心として，データ表示パネルや操縦のための多くのスイッチ並びにメータ類等から構成されている。これらの機器は，限られた盤面内に効率良く配置されており，その実装密度がたいへん高いものとなっている。このような限られたスペースのために，ビークルの操縦に必要なビークル自身の状態や支援母船の状態に関するデータの表示は，LED文字表示素子による数値表示のみとなっており，測位データの表示画面も先に述べた一画面のみとなっている。したがって，これらのデータを加工して実際のビークルの運用状況に即した形式で表示することができれば，より安全かつ効率的な操縦を行うことができる。

3.1　既存の測位表示画面の改造

ドルフィン－３Ｋシステムの完成当初，ビークルの操縦者に与えられたビークルの位置を表す情報は，船位基準の平面グラフによる測位表示画面のみで，その実際の距離を直接的に数値によって読み取ることができなかった。そのため，操縦者はビークル，海底ビーコン及び支援母船の大略的な位置関係のみしか知ることができず，任意の目標位置や海底のトランスポンダビーコンへ接近するようなミッションは，たいへん困難なものであった。そこで，既存の測位表示画面から一部のグ

ラフを削除して，以下に示すような数値データの表示を追加した。

(1) ビークルの位置座標Vとそのスラント距離Sv

$$V = (x_v, y_v, z_v)$$

$$S_v = \sqrt{x_v^2 + y_v^2 + z_v^2}$$

(2) ビーコンの位置座標T_nとそのスラント距離S_n（添字nはビーコンの番号を表す）

$$T_n = (x_n, y_n, z_n)$$

$$S_n = \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}$$

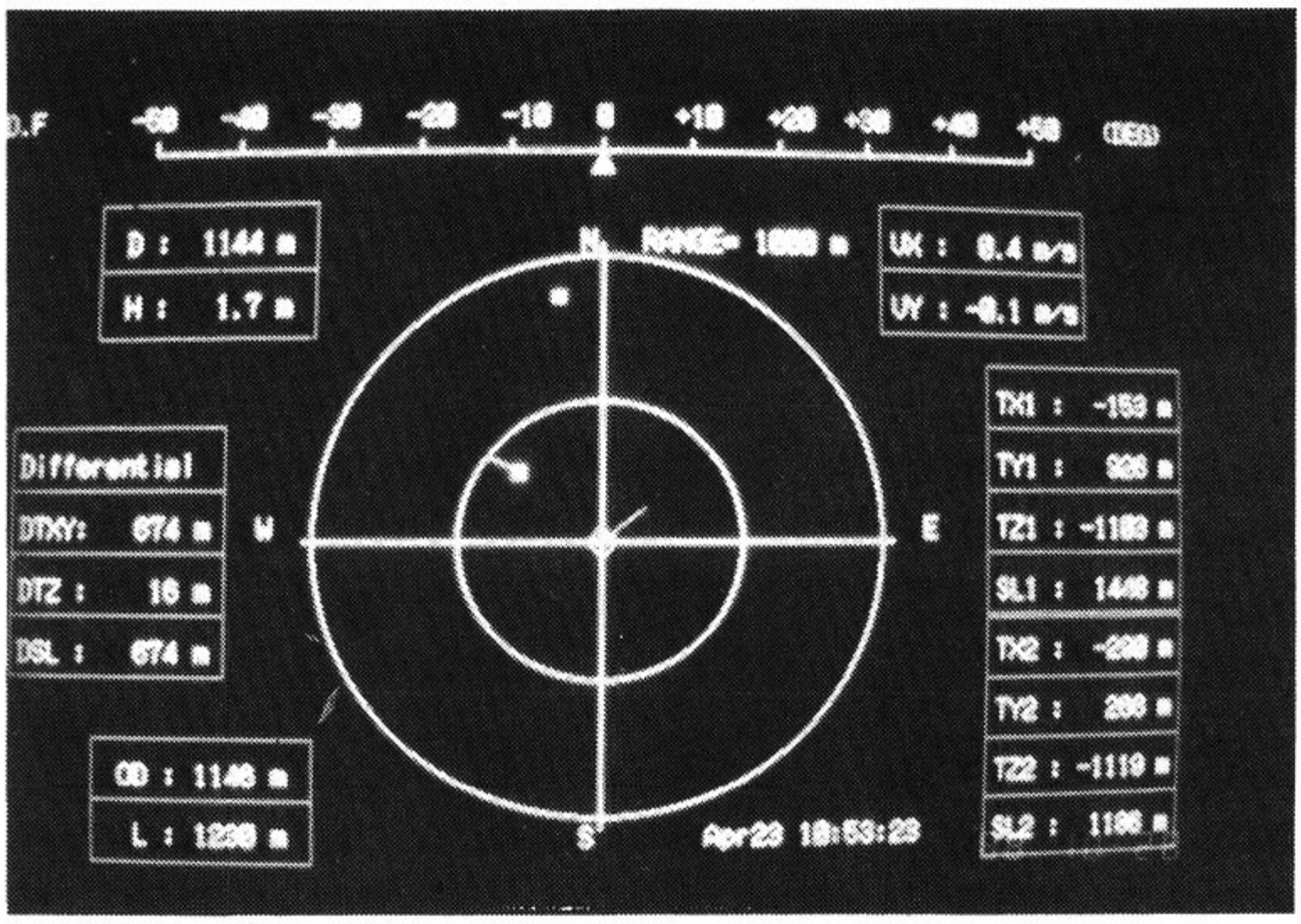
(3) ビークル位置とビーコン位置の間の距離を表すデータ

水平距離：$DTXY = \sqrt{(x_v - x_n)^2 + (y_v - y_n)^2}$

垂直距離：$DTZ = z_v - z_n$

実効距離：$DSL = \sqrt{(x_v - x_v)^2 + (y_v - y_n)^2 + (z_v - z_n)^2}$

これらの数値データ表示の追加によって，目標位置へ接近する際の操縦がたいへん容易となった。写真1に改造後の測位画面を示す。



音響方位探知ソナーの指示

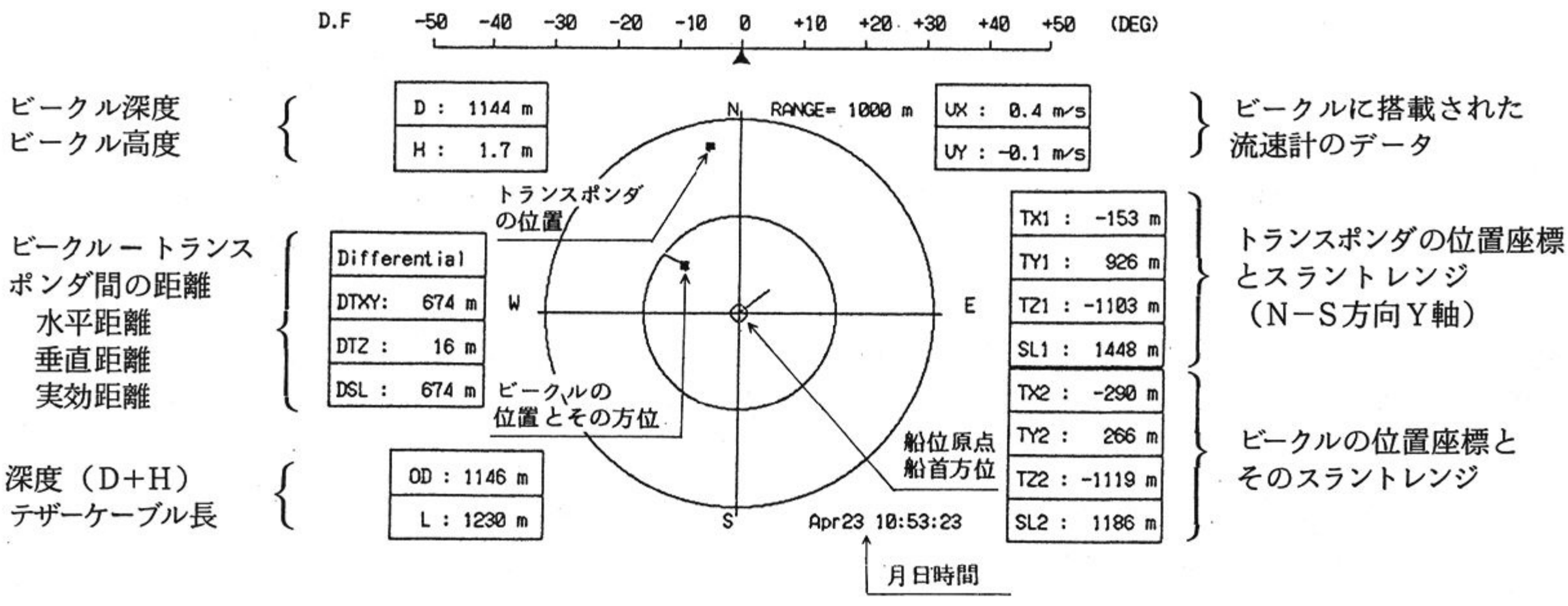


写真1　改造後の測位画面とその説明図

Photo 1　The reformed graphic display and the diagram.

さらにその後，ドルフィン－３Ｋの運用が慣熱するのにともなって，この母船の位置を基準とした一画面のグラフのみではビークルの行動に関する的確な判断や予測が十分に行えないことがわかった。

3.2　ビークルの運用に即した位置データの表示

一般に，有人潜水船あるいは曳航体等の潜航行動の場合，先ず支援母船は電波航法等によってその海域に向い，直接その潜航目標位置へトランスポンダビーコンを投入するか，またはその海域の海象を考慮にいれた目標位置の付近にビーコンを設置する。その時点からその海域における行動は，設置された海底ビーコンを基準にして行われる。したがって，ビークルにおける潜航行動においても，つねに海底ビーコンを基準としたものであることが望ましい。

すなわち，基準とする（原点とする）ビーコンの位置座標をT_o，船位を基準とした各ビーコンとビークルの位置座標をそれぞれT_n，Ｖとすると，ビーコンを基準とした各位置座標は次のように表すことができる。

① 海底ビーコンの座標T_{Bn}（ただし，添字ｎは複数の海底ビーコンを用いた場合のビーコン番号を示す）

$$T_{Bn} = T_n - T_o$$

② 支援母船の位置座標 M_B

$$M_B = -T_o$$

③ ビークルの位置座標 V_B

$$V_B = V - T_o$$

さらに，予め海図等によって特定された目標地点の位置は，当然のことながら緯度，経度によって表されている。したがって，ビークル，海底ビーコン及び支援母船の位置も常に緯度，経度でＣＲＴディスプレイ等に表すことができれば，各位置の把握を容易に行うことができる。

3.3　潜航海域の等深線を描いたトラッキングチャートの作成

ビークルの潜航中の行動を効率良く安全に行うためには，そのトラッキングチャート（潜航航跡図）の作成が不可欠である。既存のドルフィン－３Ｋにおいては，ビークル指揮者等（ナビゲータ等）が測位画面に表示されたビークルの位置を読み取って海図上に随時プロットし，トラッキングチャートを作成していた。この場合，既存のシステムではビークルの測位が船位基準で，すなわち船位を原点として表示されているので，海底の任意の位置（多くの場合海底ビーコンの位置となる）を基準としたものに計算し直してプロットするため，これらの作業はビークル指揮者等にとって大きな負担となっていた。さらに，このトラッキングチャートの作成は，ビークルの操縦用コンテナハウス内部が狭いため支援船内の別室で行い，そこから電話等の通信手段によってビークルの進路を操縦者に伝えた。したがって，操縦者はビークルの位置や目標位置の把握が迅速に行えず，ビークルの操縦に関する判断の遅れがしばしば生じた。これらの不具合を解決するために，トラッキングチャート作成の自動化とその進路指示の迅速化が望まれた。

3.4　時系列データの表示

ビークル，テザーケーブル等の状態を表すデータの時刻歴を表示させると，ビークルの行動予測にたいへん有効である。先にも述べたように，ビークルの操縦を行う総合操作盤面上には操縦に直接必要な多くのデータが数値で表示されているが，データの時刻歴は表示されていない。既存のシステムにおいて，ビークルオペレーター及びその指揮者等は，盤面に表示されている数値データで現状のビークルの状態のみを把握するのに精一杯であり，過去の行動軌跡（潜航開始後からその時点までの）から現在のビークルの状態を踏まえた潜航進路等の行動予測を的確に行うことが難しいものとなっている。したがって，時々刻々変化するその状態を表すデータの時刻歴を時系列グラフとして表示させることは，たいへん有効である。特にテザーケーブルの状態は，ビークルの行動に直接的に影響を与えるため，その三次元カテナリーの推定予測表示によるリアルタイムの監視が必要であると考えられる。しかし，既存のシステムが持っているハードウェアの環境下ではこれらの推定・予測の表示は困難であるため，既存のシステムで得られるデータを加工してその状態を知り，予

測する必要がある。これらの観点から，次の５種類のデータを選定した。

① ビークルの深度　　D
② ビークルのスラント距離　　S_v
③ テザーケーブルの繰り出し長　L_c
④ ケーブルの速度（$\Delta L_c / \Delta t$）
⑤ ケーブル余長比（L_c / S_vの比）

これらの時系列データを数値データと共にリアルタイムで表示させることによって，テザーケーブルの状態をある程度推定予測することができる。

3.5　測位データの三次元表示

先に述べられた測位データの表示形式は，深度方向の情報を数値データで記述した二次元平面における表示が主なものであった。有人潜水船や曳航体等の運用においても，実際の追跡作業は海底もしくは特定の深度を対象とした平面上で行われ，必要に応じてその深度または高度を知ることのみで，全体の空間的な測位イメージは必要とされなかった。しかし，自航力を持ち，かつ常にケーブルに拘束された本ビークルシステムの場合は，海底の起伏，トランスポンダビーコン及びその系留索等の障害物を含めたビークル測位の立体的なイメージを直感的に把握する必要がある。これらの観点から，各ビーコンの位置の三次元表示を容易に理解できるような表現で，しかもリアルタイムで表示させることが必要である。

3.6　オフラインでのデータ解析と潜航，調査記録の作成

これまでに述べたオンラインによるデータの表示は，運用後においても再現できる必要がある。特に，ビークルのトラッキングチャートはその潜航行動の軌跡を忠実に表すことができ，ビークルやケーブル等のデータと共に潜航，調査記録としていつでも再現できる必要がある。さらに，収集されたデータは，各専門分野において必要なアルゴリズムによって解析または表現されることもある。したがって，収集されたデータの表示を潜航時間に沿って容易に再現できるような機能も必要である。

4.　システムの構成

本システムは，既設の３K用音響測位装置のデータ処理表示装置から伝送されるソースデータに演算処理を施して，先に述べた機能を達成するための情報処理表示装置である。

4.1　機器構成

本システムは，複数のパーソナルコンピュータとその入出力機器及び通信モデム等のハードウェアと，データ通信及び演算用プログラム等のソフトウエアから構成されている。図２に本システムの機器構成を示す。図より，PC－１は既存のシステムにおけるデータ処理表示装置であるとともに，表３に示したソースデータを１メガバイト容量のフロッピーディスクに収納している。これらのソースデータのサンプル周期は，ビークルに関するものは２秒で，音響測位に関するものはその時のインタロゲート信号の発信周期となっている。本システムの開発にあたっては，このソースデータを他のPCへも伝送できるようにRS－232C入出力回線を増設し，そのプログラムの改造を行った。

先に述べた本システムに必要な機能をリアルタイムで実現するために，さらに２台のパーソナルコンピュータPC－２とPC－３を導入した。これら２台のパーソナルコンピュータには，PC－１に増設されたRS－232C回線から新たに準備した光モデムを介してソースデータが伝送された。PC－２は，ビークルの追跡に必要な情報を表示させるために基本入出力機器（CRT，キーボード）の他にデジタイザ，グラフィックプロッタ及びプリンタを各１台付属させた。デジタイザは海図から等深線データを読み込むために，グラフィックプロッタはビークルのトラッキングチャートを描くために使用した。また，プリンタはプロッタに描かせたデータを常時数値データで記録するために使用した。PC－３には，テザーケーブルの監視に必要な情報画面と測位の三次元情報画面との二つの画面を表示させた。これらの二つの画面は，１台のCRT上で必要に応じてどちらか一方の画面にワンタッチで切り換えることができる。PC－３のプリンタは，CRTのカラー画面のハードコピーを得るためにカラープリンタを採用した。

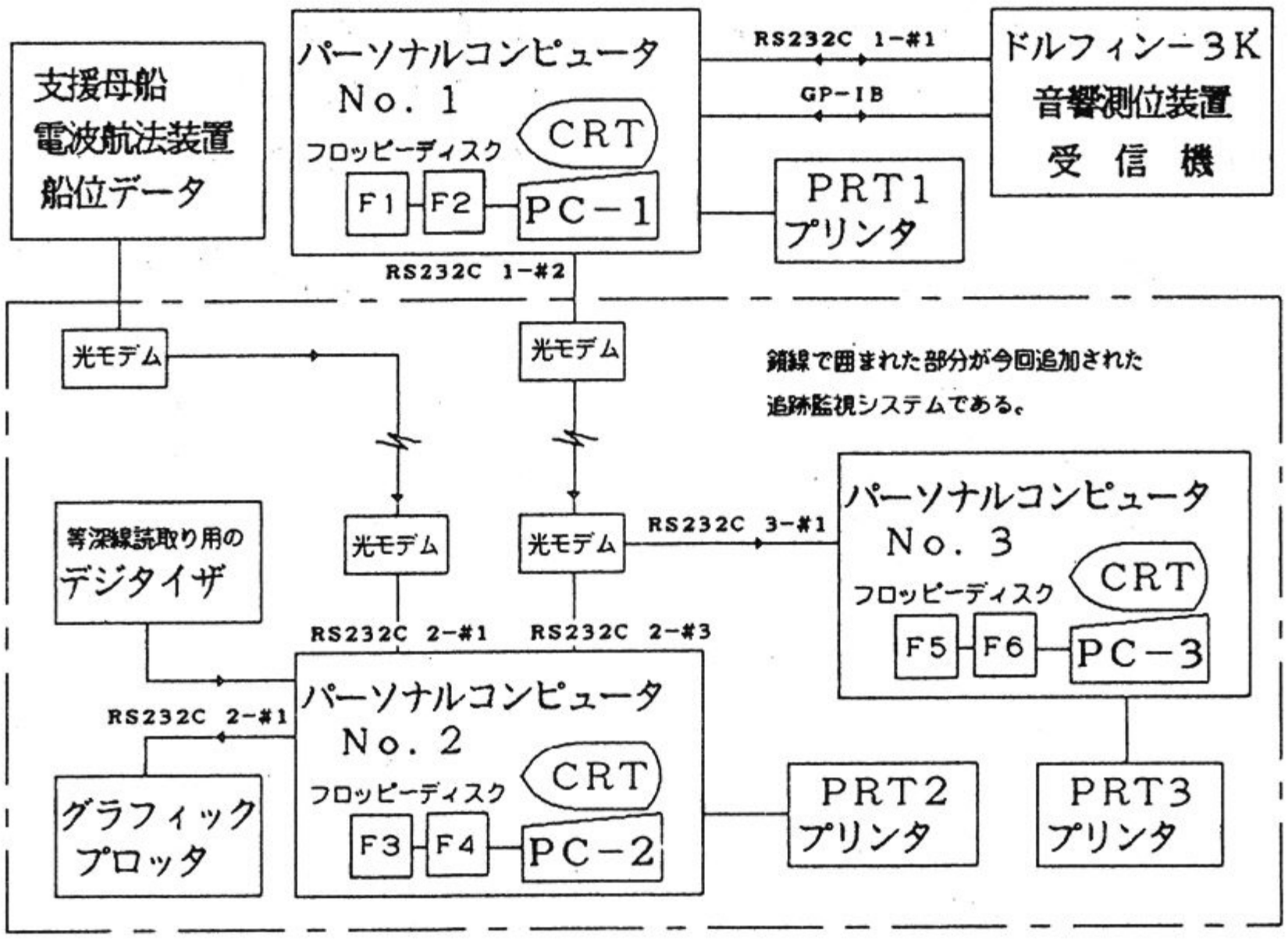


図2　追跡監視システムの機器構成

Fig. 2　Block diagram of the system

表3　データ処理表示装置におけるソースデータ

Table. 3　Source data in data aquisition device

1、　月　日　時　分　秒
2、　支援母船の方位角度
3、　ビーコンの位置　（X1, Y1, Z1）
4、　ビークルの位置　（X2, Y2, Z2）
5、　ビークル方位角度
6、　〃　高度
7、　〃　深度
8、　方位探知機による音源の方位角度
9、　流向、流速　（Vx, Vy）
10、　テザーケーブルの繰り出し長さ
11、　ビークルの回転数
12、　カラーTVカメラのパン&チルト角度
13、　白黒　TVカメラのパン&チルト角度

また，ドルフィン－３Ｋのオペレーションシステム自体はテンポラリーなものであるため，本システムの配置方法に柔軟性をもたせ，支援母船の変更や運用体制の変更に伴う設置場所の変更を容易に行うことができるように，遠隔伝送が可能な光モデムを採用した。

4.2　プログラムの開発

本システムにおけるプログラムの開発とその運用並びに実行は，既製のディスクベース・オペレーティングシステム上で行われた。プログラムの開発は，主にインタープリンター形式のベーシック言語によって行い，リアルタイム（実時間）処理が必要な一部のプログラムは，ベーシックコンパイラによってオブジェクトコード（機械語）に変換して使用した。プログラムの開発にあたっては，以下に示すようなことに留意した。

① オペレーターが容易に運用できること。
② PCの使用台数を可能な限り減らすこと。
③ 理解しやすい形式のグラフィック表示を行うこと。
④ 開発後のプログラムの修正並びに変更が容易に行えること。

①については，プログラムの運用を対話形式で行い，キーボードからのパラメータの入力が最小限度となるように配慮した。②については,当初，１台のPCで本システムを構築する意図で開発をすすめたが，複数のグラフィック画面の使用と，可能な限り処理時間を短くするために２台のＰＣを使用した。③については，グラフィックの画面を多色による単純な表現方法で作成するように留意した。また，④については，ベーシック言語によるプログラムの記述が理解しやすいため，容易にその内容の修正等を行うことができる。

4.3　プログラムの構成

本システムのプログラムは以下に述べる追跡用モニターと監視用モニターの２つのプログラムから構成され，２台のパーソナルコンピュータで実行される。

4.3.1　ビークル追跡用モニター

追跡用モニターのメニュープログラムは，さらに六つのプログラムで構成され，これらの全プログラム容量は約80Kバイトである。図３にその構成を示す。これらのプログラムはキーボード上のファンクションキーを押すことによって実行される。最初は追跡作業の準備として，f1からf5までのファンクションキーに割当てられた五つのプログラムを実行する。その後，リアルタイムの追跡プログラムによって実行する。

(1)　通信回線テスト用プログラム

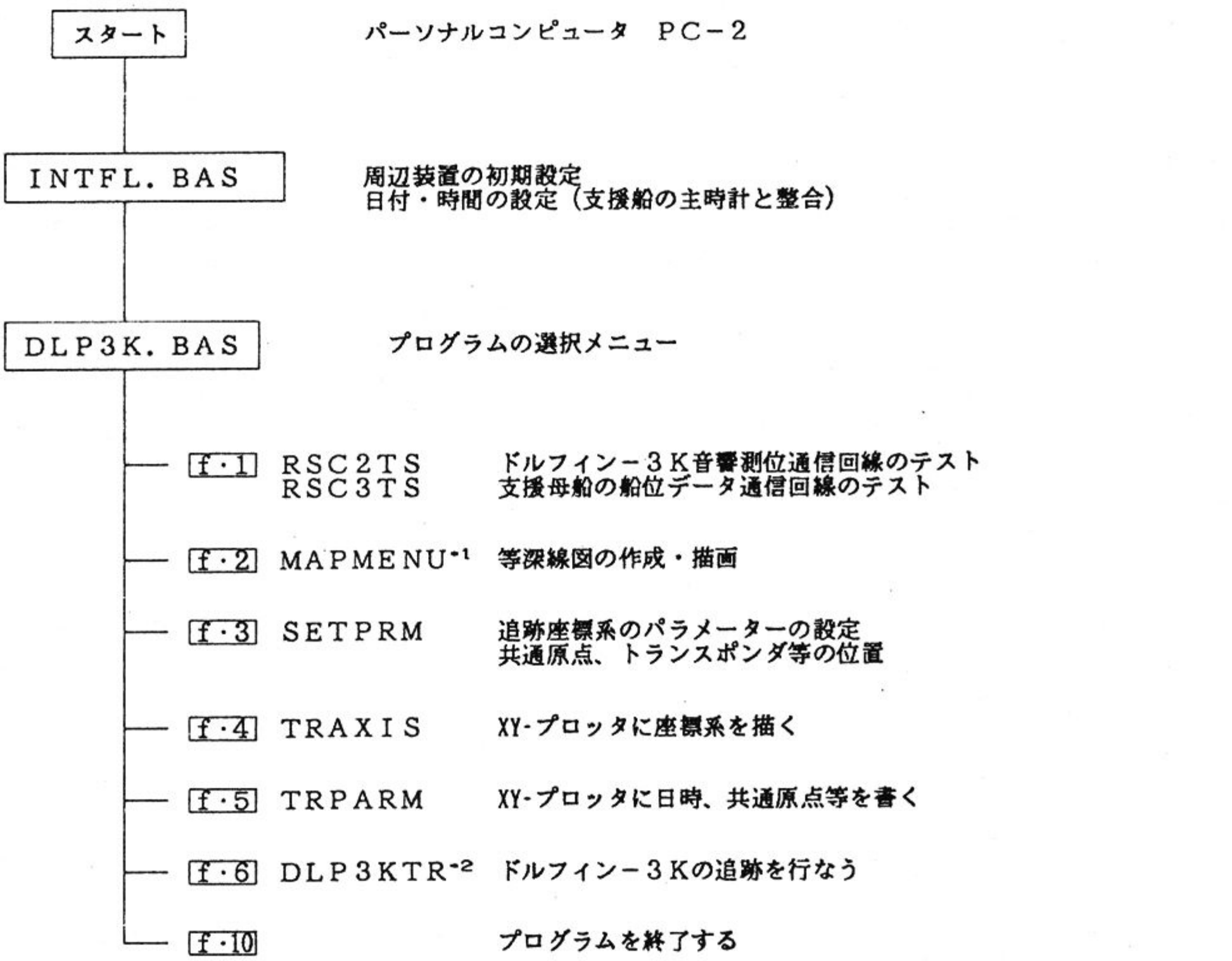
ドルフィン－３Ｋ用音響測位装置から送信される通信回線と，支援母船の電波航法装置から送信される通信回線の通信テストを行う。CRT上に測位データの数値列を表示させることによってその通信状態を確認することができる。

(2)　等深線図の作成・描画プログラム

潜航海域の等深線データを作成し，そのデータをグラフィックプロックに描画させる。本プログラムは，さらに以下に示す五つのプログラムで構成されている。

① デジタイザの初期設定
② デジタイザによる等深線の読み取り
③ 等深線データの作成
④ ヘッダーファイルの作成
⑤ CRTとプロッタに描画

①から④までのプログラムは等深線データの作成を行うものであり，５万分の１の海底地形図から潜航海域（緯度３分，経度４分）を特定し，これを原図としてデジタイザで読み取る。デジタイザによってＰＣへ入力された各等深線別のファイルは，必要に応じて指定された等深線の間隔で編集され，その海域の緯度，経度やスケール等のパラメータを記入したヘッダーファイルと共にフロッピーディスクへ収納される。作成された等深線データは，⑤のプログラムによって，PCのCRT上に描画される。ＣＲＴ上に表示された等深線図は，ビークルの潜航行動の追跡に必要な範囲をパラメータ入力によって指定し，その指定された範囲をトリミング，拡大して表示する。写真２に等深線図の表示例を示す。さらに，これらの等深線図は，追跡を行う座標系とスケールを一致させた後，グラフィックプロッタに描画させることができる。このように，本プログラムの等深線を描画する一連の作業は，ビークルの潜航時直前に，潜

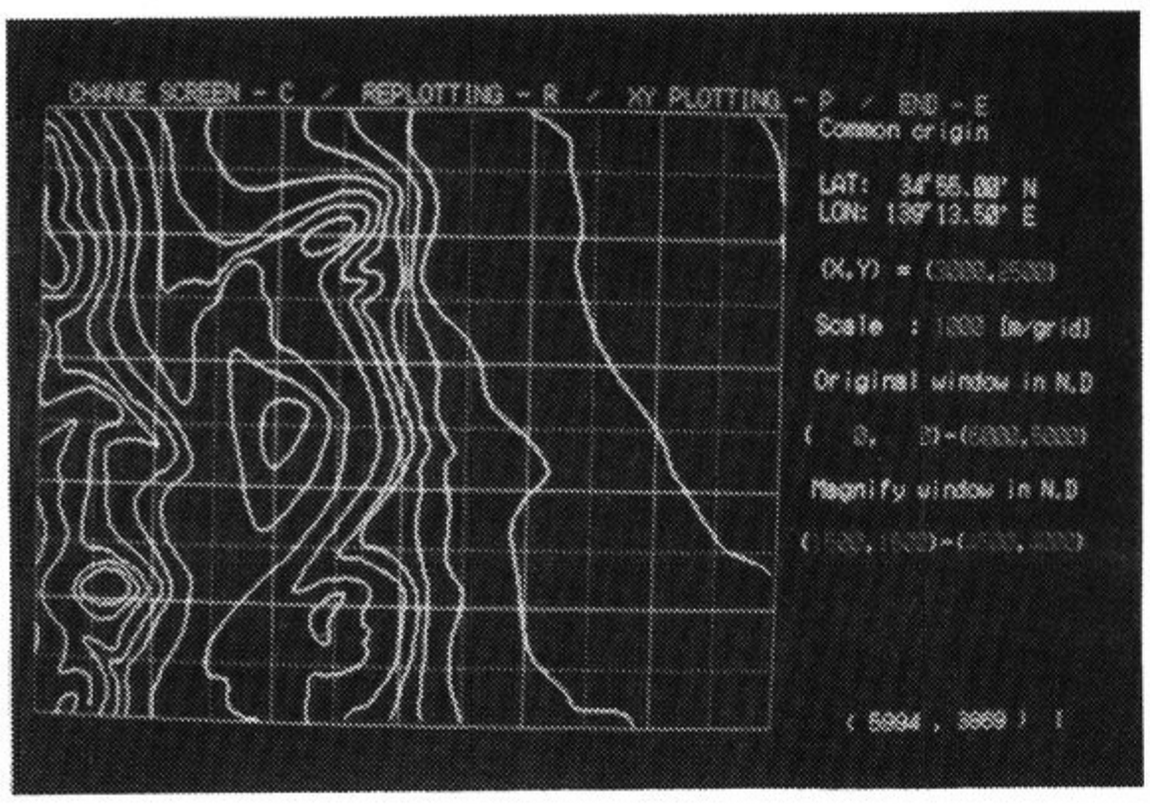


*1　さらに 5つのプログラムから構成されている。

*2　プログラム DLP3KTR.EXE の運用は、さらに 10 のパラメータ変更用ファンクションキーから構成されている。

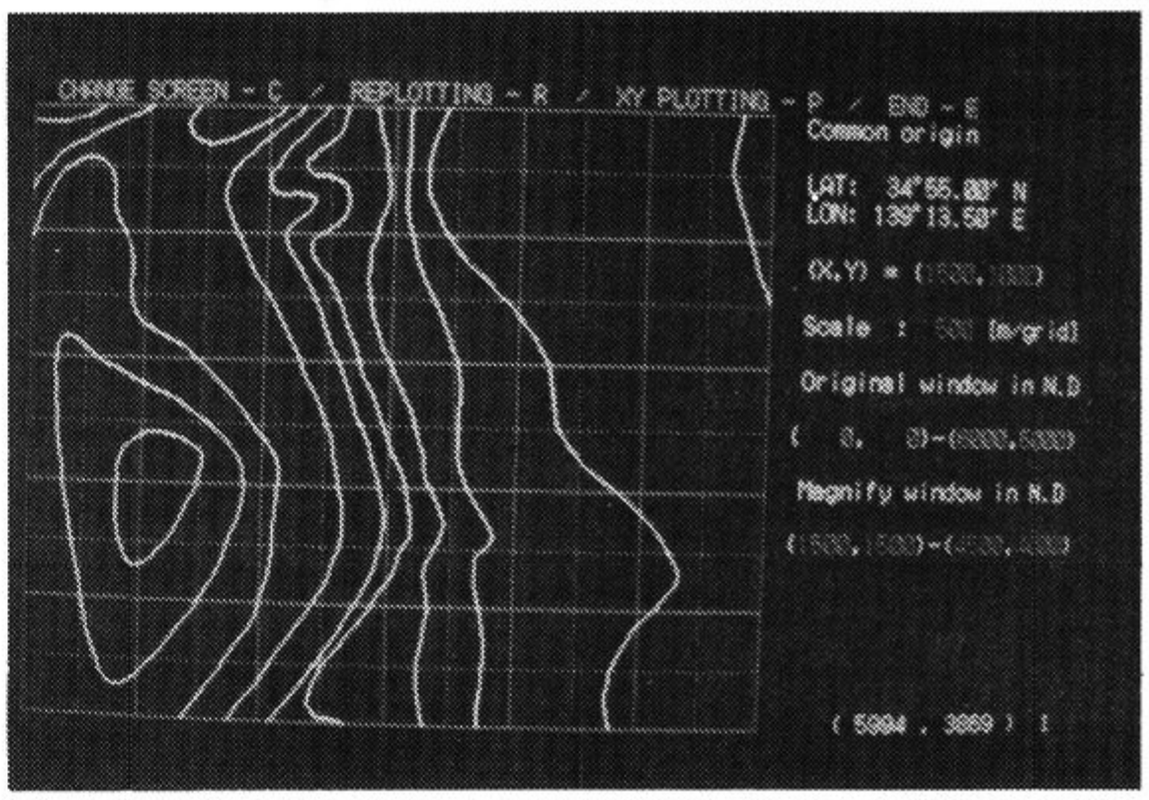
図３　ドルフィン－３Ｋ追跡用プログラムの構成

Fig.3　Construction of the program for tracking mode


CHANGE SCREEN - C / REPLOTTING - R / XY PLOTTING - P / END - E
Common origin
LAT: 34°55.88' N
LON: 139°13.58' E
Scale : 1000 [m/grid]
Original window in N.D
Magnify window in N.D

読み取り原図の表示

Displaying the original map


CHANGE SCREEN - C / REPLOTTING - R / XY PLOTTING - P / END - E
Common origin
LAT: 34°55.88' N
LON: 139°13.58' E
Scale : 500 [m/grid]
Original window in N.D
Magnify window in N.D

拡大，トリミングされた画面の表示

Displaying the map magnified and trimmed

写真２　等深線図の表示例

Photo 2　Displaying the contour map

航海域の状況に即した潜航範囲の設定を可能にしている。

(3)　追跡座標系のパラメータ設定プログラム

ＣＲＴ及びグラフィックプロッタに表示する平面グラフの座標系を設定する。この座標系を決めるために，以下に示すようなパラメータを対話形式で入力する。

①　座標軸のスケール

②　共通原点の座標及び緯度，経度

③　目標点（ビーコン等）の設定数とその緯度，経度

これらのパラメータはファイル化され，フロッピーディスクへ収納されると共に，以後のプログラムにおいて参照される。また，これらのパラメータは追跡プログラムの実行中においても任意に変更することができる。

(4)　グラフィックプロッタに座標軸及びパラメータ等を描くプログラム

座標軸，ラベル（日時，グラフの見出し等）及び(3)で設定したパラメータ等をグラフィックプロッタにプロットする。

(5)　ドルフィン－３Ｋの追跡を実行するプログラム

本プログラムは，ドルフィン－３Ｋの追跡のために，ＣＲＴ画面に表示されるグラフとグラフィックプロッタにプロットされるグラフとを持っている。これらのグラフ表示は，ＰＣのファンクションキーに割り当てられた変更パラメータによって，表４に示したような機能の変更を行うことができる。

①　ＣＲＴ画面のグラフ

写真３にＣＲＴ画面の一例を示す。CRT画面上のグラフは，縦軸の上－下方向を北－南にとった直交座標系で表し，緯線方向（横軸）を六つに経線方向（縦軸）を五つに分割した正方グリッドで区切られている。座標系のスケールと原点は，設定または変更パラメータのグリッドスケールと共通原点によって任意に設定される。共通原点は原則として基準ビーコンである海底トランスポンダの位置が採用されている。グラフ上に表示されるカラープロットマークは，丸印で表され，水色がビークル，支援母船が白色，海底ビーコンは紫，赤，黄，緑のいずれか一色（応答周波数によって選択される）で表示される。ビークル並びに支援母船

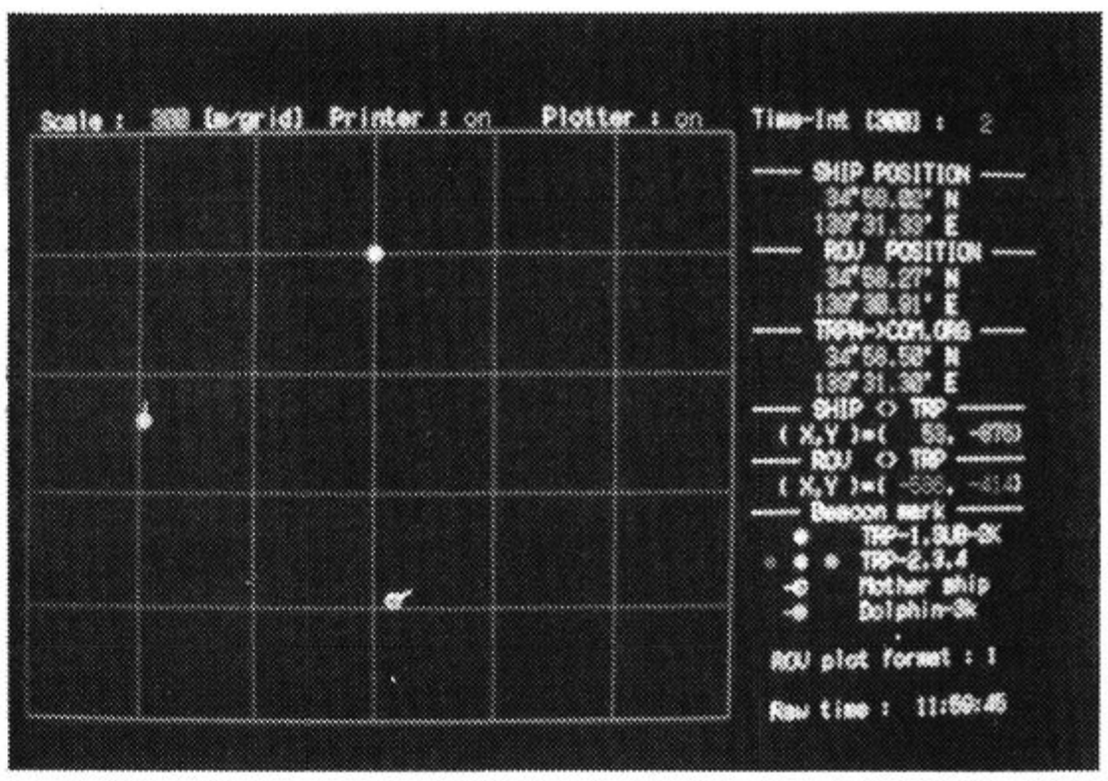


写真３　追跡モニターCRT画面の一例

Photo 3　CRT graphic display for the tracking mode

のマークは付属の指示棒の方向によってその方位が表示されている。また，CRT画面の右側には，各マークの緯度，経度が数値表示され，これらのマークと数値表示は１秒毎に更新される。さらに，画面の最上段１ラインは現状のグリッドスケールの表示と，プリンタとグラフィックプロッタの動作状態等を示すインジケーターとなっている。画面の最下段１ラインは対話形式で行うコメントの表示とパラメータの入力に使用されている。

②　グラフィックプロッタによるグラフ

グラフィックプロッタによるグラフは，ビークルの行動軌跡をプロットするトラッキングチャートであり，その座標系は基本的にCRT画面のものと同様である。図４に作成されたトラッキングチャートの一例を示す。グラフ上にプロットされるプロットマークは，図のチャート右中央に描かれている５種類の図形で表される。ビークルのプロットマークは三角形で表され，変更パラメータで指定される時間や深度データと共にプロットされる。ビークル方位はその三角形の頂点が指し示す角度で表される。参照点は３種類設定することができ，そのうちの一つは通常，共通原点となる海底のトランスポンダビーコンに，他は任意の目的地等に割当てられる。ビークルの軌跡は，通常，変更パラメータで設定した時間間隔毎にプロットされるが，必要に応じて，割込みプロットスイッチ（表４）によってもプロットを行うことができる。

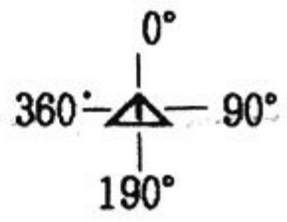
表4　追跡プログラム変更パラメータ

Table.4　Modificative parameters during executing the tracking program

ファンクションキーによる変更パラメータ

f・1	スケールの設定(グリッド当りの距離)　100～2000 m/grid
f・2	グラフィック座標における共通原点(X_o, Y_o)の設定 $0 < X_o < 6000$,　$0 < Y_o < 5000$
f・3	共通原点の緯度、経度の設定　(Lat,Lon)　　deg,min
f・4	プリンターへのデータ出力　ON/OFF スイッチ
f・5	プロッターへのデータ出力　ON/OFF スイッチ
f・6	割込み プロット・プリントアウト　スイッチ
f・7	プロット・プリントの時間間隔(10～900秒)を設定　秒
f・8	プロットマーカーのタイプ 0 / 1 / 2 *1 を選択しキーイン
f・9	ディスクへデータを出力 N / A / E / C *2
f・10	プログラムの終了

*1　0 △、 1 △ 12:25、 2 △ 12:25 3300　　時間のみ　時間と深度



*2　New / Append / End / Cancel

4.3.2　テザーケーブル監視用モニター

本プログラムは，テザーケーブルの監視やビークル等の測位データの三次元表示をリアルタイムで行うオンラインモニター用プログラムと，これらの表示とデータの再現を行うオフライン用プログラムの二つから構成されている。これらのプログラム容量は，オンラインモニターが約40Kバイト，オフラインモニターが約60Kバイトとなっている。図5にドルフィン－3K監視用モニターのプログラムの構成を示す。

(1)　オンラインモニター

本プログラムは，ビークル等の測位データの三次元表示とテザーケーブル監視用データの時系列表示をリアルタイムで行うもので，本プログラムの実行にあたって，次のような数値を対話形式でキーボードから入力する。

①　ビークルの潜航予定最大深度

②　推定最大ケーブル長

③　潜航予定時間

これらの数値は，三次元座標軸と時系列のグラフ軸のスケールを設定するものである。数値の入力後，ビークル位置の三次元表示が最初に表示され，表5に示したファンクションキーの画面の切り換えによって時系列画面を表示させることがで

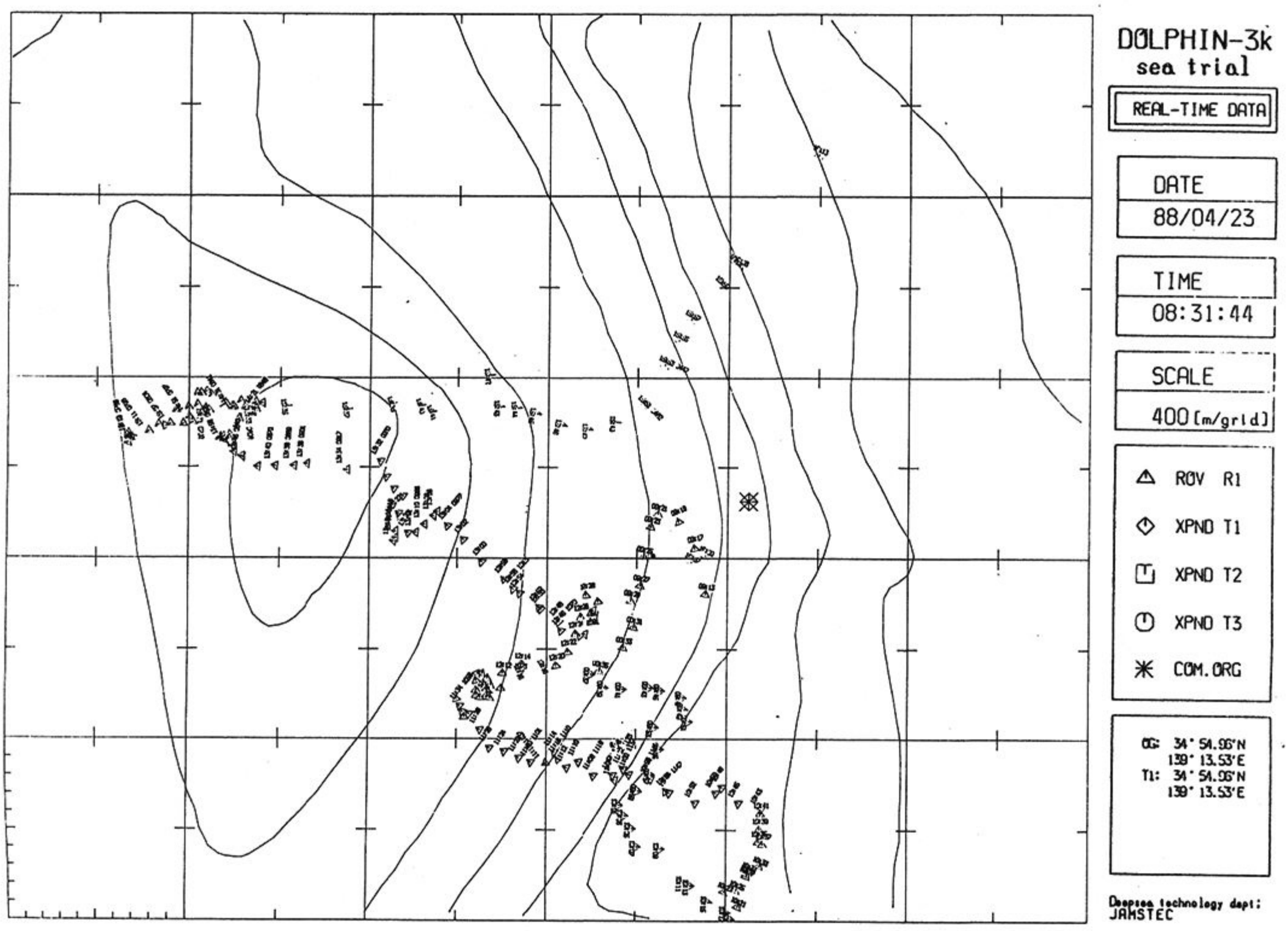


図4　トラッキングチャートの一例

Fig. 4　Drawn up tracking chart of the vehicle positions with contour map

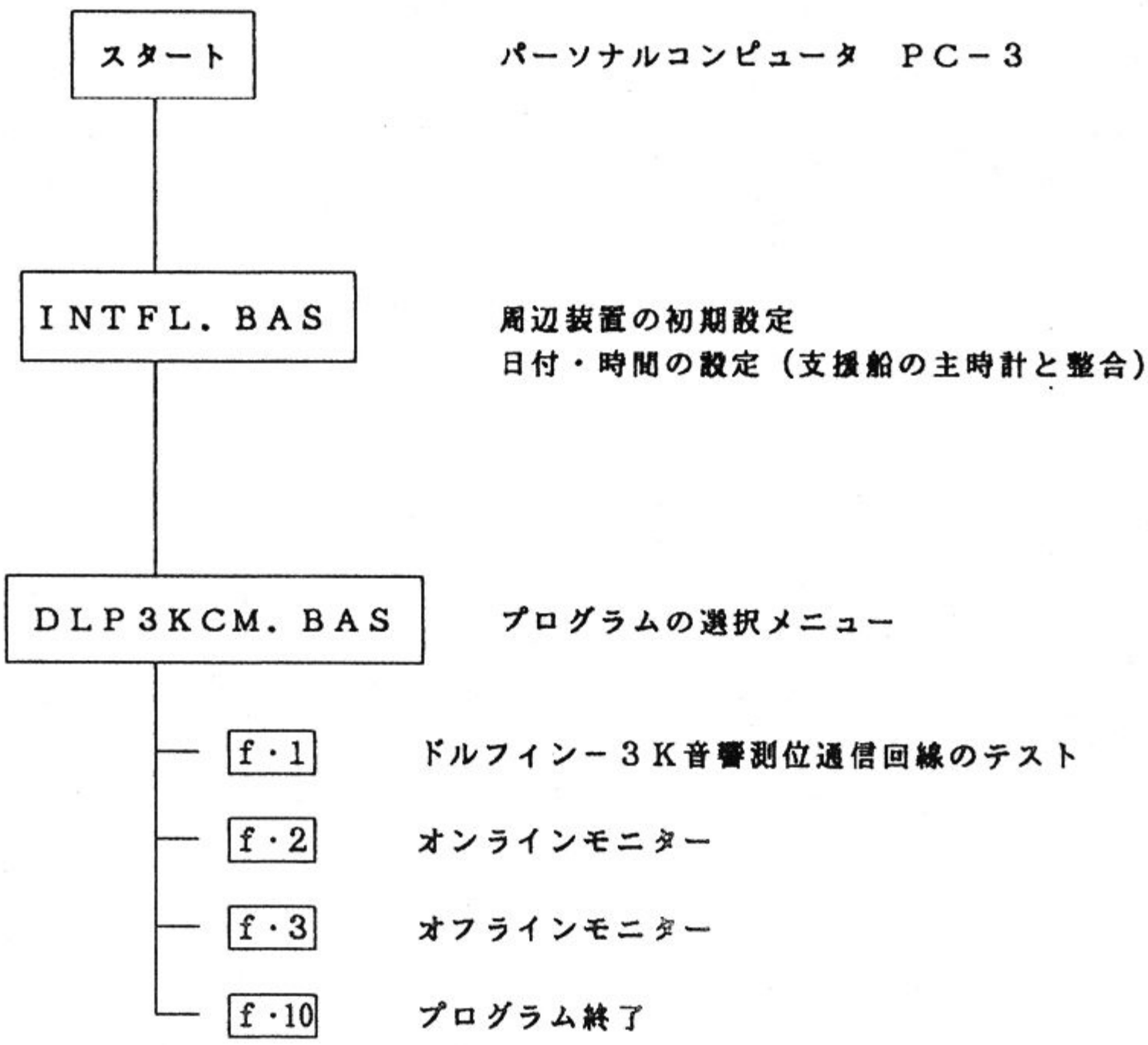


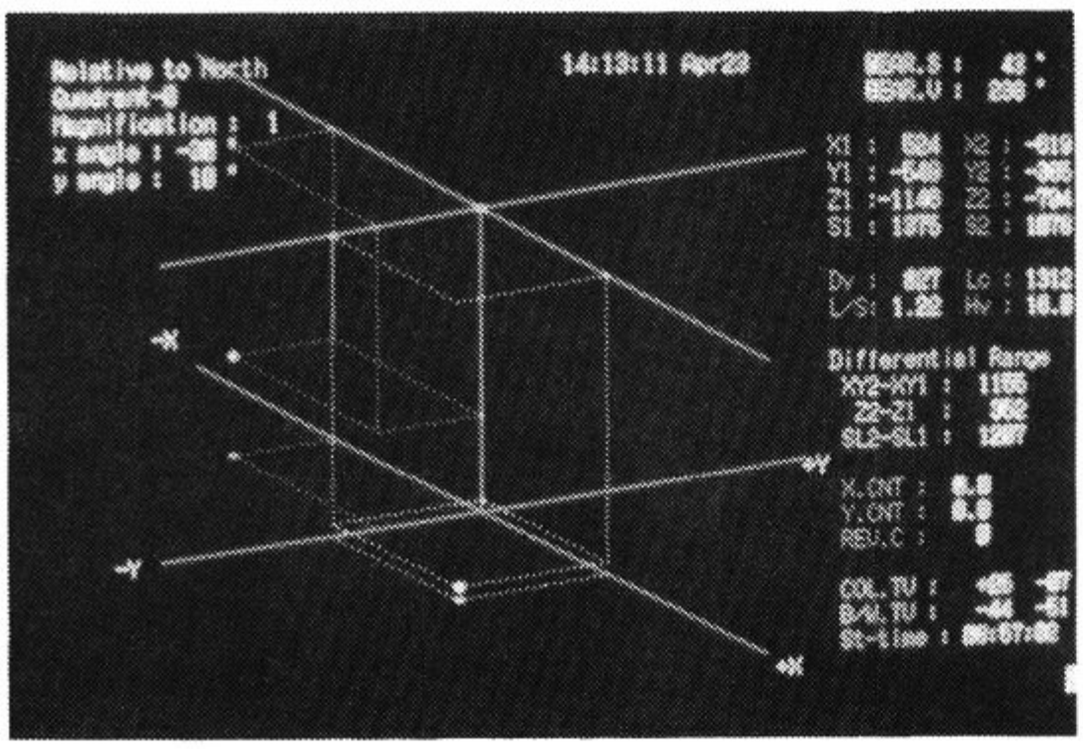
図５　ドルフィン－３Ｋ監視用プログラムの構成

Fig. 5　Construction of the program for the monitor mode

表5　オンラインモニター変更パラメータ

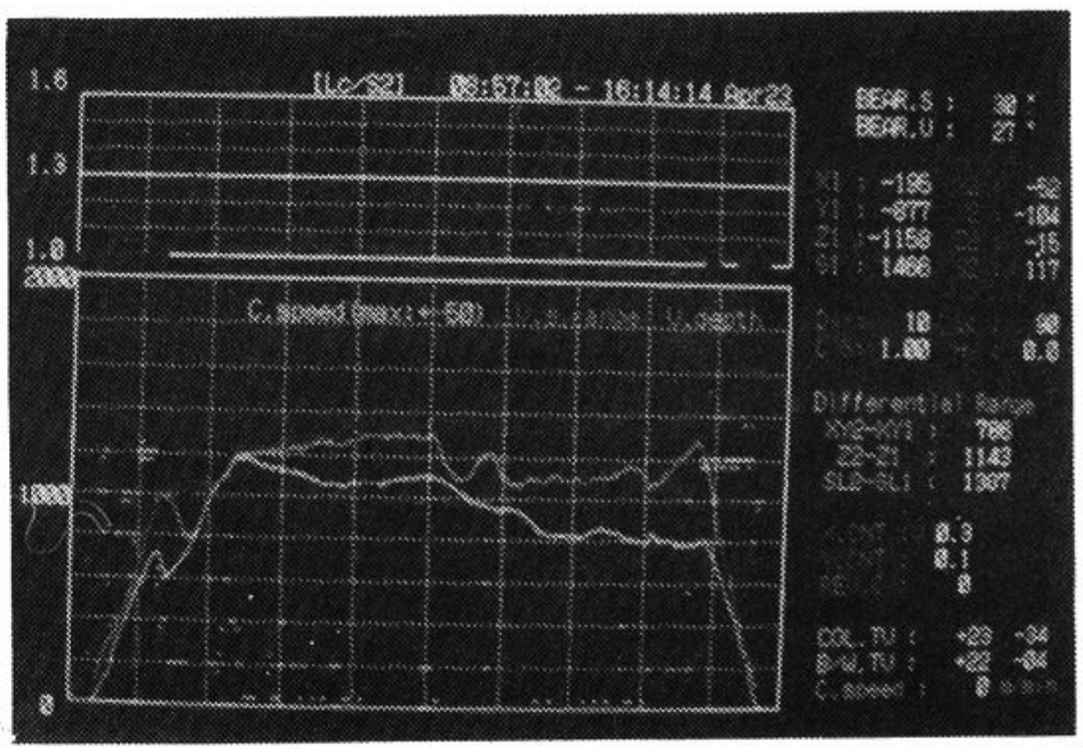
Table.5　Modificative parameters during executing the on-line monitor

f・1	画面の切り換え　ケーブルモニター／測位の３次元表示
f・2	座標の表示基準の切り換え 北基準／船首基準
f・3	表示象限（0、1、2、3、4）
f・4	X軸、Y軸の表示角度
f・5	拡大／縮小表示の倍率
f・10	終　　了



三次元測位表示

3－dimensional display of the beacon positions



時系列データ表示

display of time-series datas

写真4　オンラインモニターの画面

Photo 4　CRT graphic display for on-line monitor

きる。写真4に各画面の一例を示す。図の画面右側部分の数値は，表6に示した数値データの瞬時値をリアルタイムで表示させたものであり，二つの画面において共通のものである。

(a)　測位データの三次元表示

この画面の座標軸は，通常の北基準において，X軸の正側を東に，Y軸の正側を北にとり，そして上部のＸＹ平面における原点を船位中心としてＺ軸を深度方向に設定している。下部のＸＹ平面は潜航が予定されている最大深度の海底を表している。ビークル及びビーコンの位置表示は，それぞれ緑色と黄色の仮想点で表し，これらの位置関係が容易に把握できるように各軸と各平面への投影点と線を設けた。写真4の表示例では手前の海底面に接している黄色の点がビークルを表している。さらに，画面の左上部には三次元座標を表す

表6　監視用モニター画面の表示データとそのシンボル

Table.6　Glossary of symbolics in the data-display

シンボル	データの種類	単位
BEAR.S	支援母船の方位角度	度
BEAR.V	ビークルの方位角度	度
X1、Y1、Z1、S1	ビーコンの位置座標とスラント距離	メートル
X2、Y2、Z2、S2	ビークルの位置座標とスラント距離	〃
V.s.range	ビークルのスラント距離	〃
Dv (V.depth)	ビークルの深度計による深度	〃
Lc (C.length)	テザードケーブルの繰り出し長	〃
L/S	ケーブル余長比　(Lc/S2)	無
Hv	ビークルの高度(海底からの高さ)	メートル
XY2-XY1	ビークルとビーコン間の水平距離差	〃
Z2-Z1	〃　の深度差	〃
SL2-SL1	〃　の実距離差	〃
X.CNT、Y.CNT	ビークルの流速	メートル／秒
REV.C	ビークルの回転数	回転
COL.TV、B/W.TV	カラー・白黒TVカメラの俯仰角度	度
C.speed	テザーケーブルのスピード	メートル／秒

ための四つの描画変更パラメータが示されている。これらは，座標の相対表示基準，表示象限，拡大・縮小率及び各座標軸の表示角度等を設定するもので，これらのパラメータをファンクションキーで変更することによって，より理解しやすい表示状態を選択することができる。

(b)　テザーケーブル監視用データの時系列表示

この画面のグラフは，横軸に経過時間をとって各データをプロットさせる時系列表示である。

表示されている時系列データは，以下に示す5種類である。

①　ビークルの深度

②　ビークルのスラント距離

③　ケーブルの繰り出し長

④　ケーブルのスピード

⑤　ケーブルの余長比

これらのデータのその時点における瞬時値は，画面の右側に表示されている数値データで正確に読み取ることができる。画面上部中央にはデータプロットの開始時間，現在の時間及び月日が表示されている。オペレーターはこれらの時系列データを見ることによって，ビークルとテザーケーブルの状態を容易に監視することができ，さらに将来の行動を予測することも可能となる。

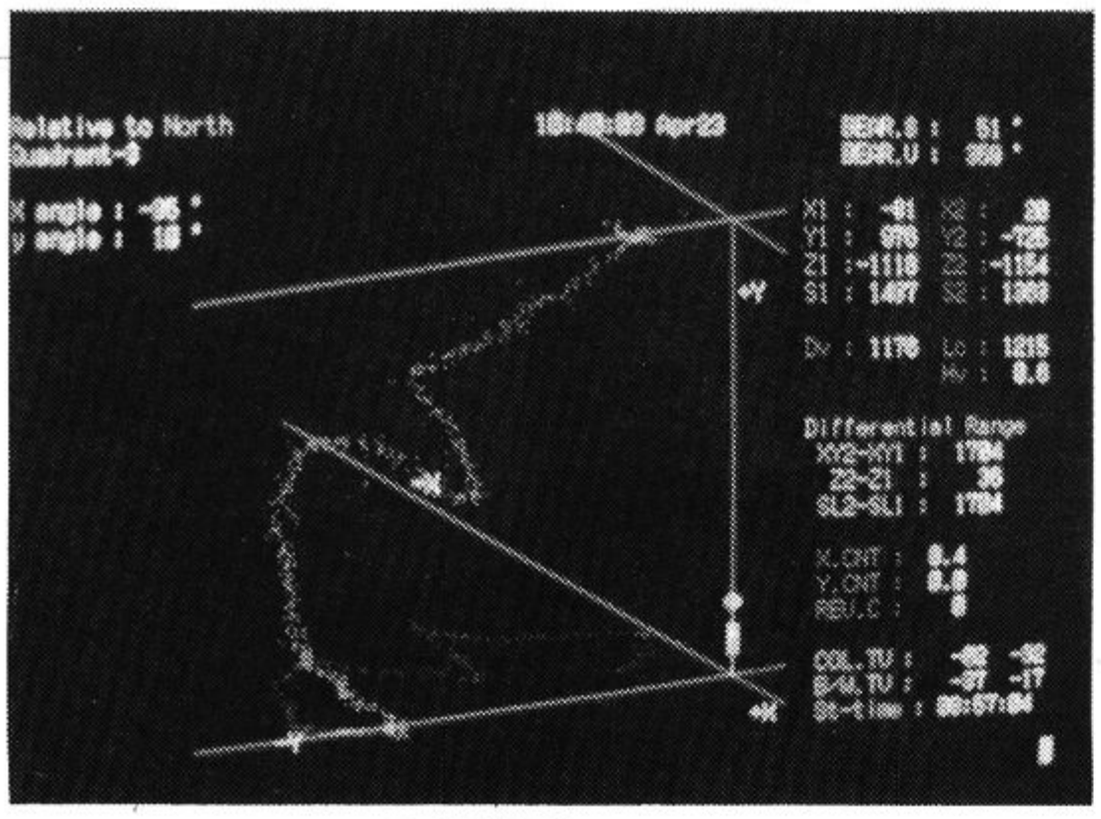
(2)　オフラインモニター

オフラインモニターの機能としては，本追跡監

視システムにおいて，リアルタイムで実行されるプログラムをオフラインで実行するものである。先にも述べたように，本システムの入力となるソースデータは，随時，フロッピーディスクに収能されているので，ドルフィン－３Ｋのオペレーション終了後においても，これらの実行結果が得られる。オフラインモニターとしての機能の一例を以下に示す。

① ディスクに収納されているデータの確認
② 音響測位データの二次元表示
③ 音響測位データの三次元表示
④ テザーケーブル監視用データの時系列表示
⑤ ビークル行動軌跡の三次元表示（写真５）

これらのプログラムによる実行結果は，グラフィックプロッタやプリンタ等へ出力することによってドルフィン－３Ｋの運用速報やデータ記録等に利用できる。



ビークルの潜航軌跡
（トランスポンダを原点として表示）

写真５　オフラインモニターによるビークル行動軌跡の三次元表示

Photo 5　3－dimensional display of the vehicle tracking for off－line monitor

5. 実用試験

1987年４月から1988年８月の間に，支援母船「なつしま」によるドルフィン－３Ｋの運用訓練が十数回にわたって行われた。その際，本システムの実用試験が行われ，ソフトウェアの修正並びにハードウェア等の追加，改造がその都度行われた。また，現状のビークル操縦用コンテナハウス内では，本システムのハードウェアを設置するスペースが得られないため，支援母船「なつしま」の総合指令室に設置した。したがって，ビークルの追跡は，プロッター上のトラッキングチャートを小型テレビカメラで撮影し，操縦用コンテナハウス内のモニターテレビへ表示させて行った。さらに，ケーブルの監視情報は，その別室から指揮者等が船内電話等によってビークルの操縦者に口答で伝えた。写真６に本システムの設置状況を示す。

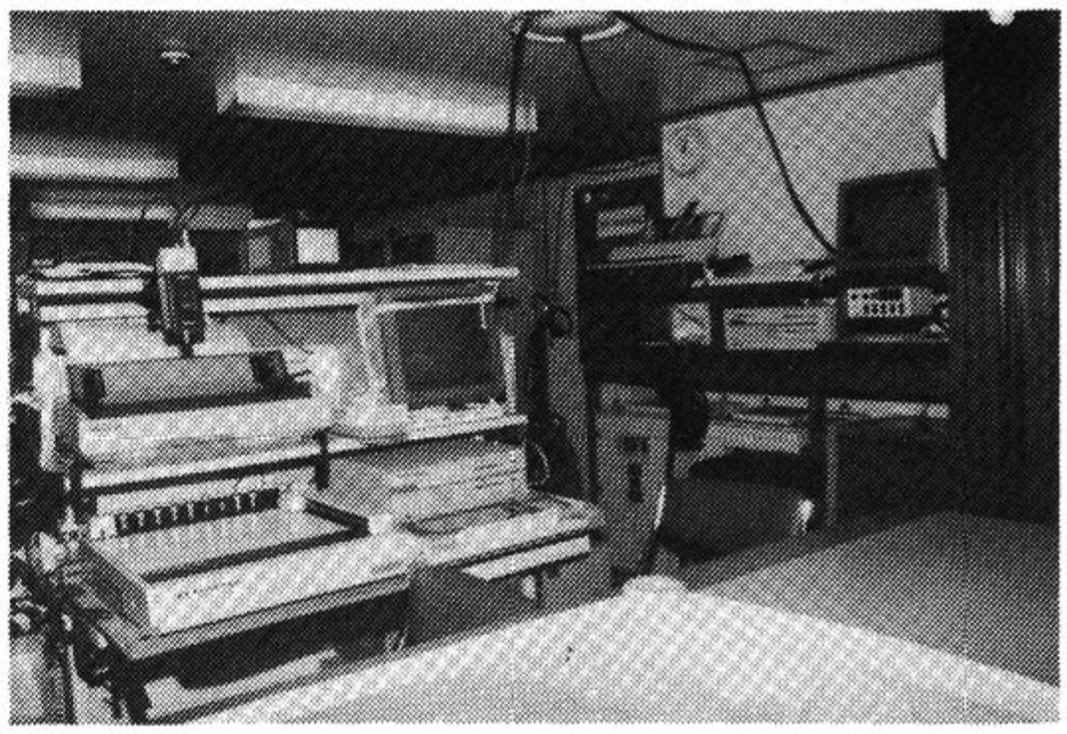


写真６　本システムの設置状況

Photo 6　configuration of the system

6. 開発結果

実用試験の結果，本システムは，良好に動作することが確認され実用となった。さらに，その機能はビークルの操縦をより安全且つ効率的に行う支援システムとして，たいへん有効であることが確認された。

また，本システムにおけるパーソナルコンピュータを用いた支援機能は，現状のビークルの運用に直接必要なものだけを採用した。本システムの開発初期においては，他にも幾つかの有効な支援機能を検討した。

例えば，

① ビークル位置の三次元表示と共に，テザーケーブルのカテナリー形状，ビークル自身の機体の動きや海底地形図等の障害物をも三次元的に表示できる機能。

② ビークルやマニピュレータの操縦・制御パラメータ等を直接的に修正，変更が行える機能。

③ ドルフィン－３Ｋシステムにおける全計測データの収集と適切なログ情報の作成。

④ エキスパートシステム等によるビークルシステムの故障診断と予備品等の在庫管理機能。

等が挙げられるが，現状のビークルシステムの性能から実現が不可能であったり，また現状の運用状況から考えて必須のものではないため，将来のビークルシステムの支援機能として採用する予定である。

7. おわりに

本システムの開発にあたって，適切な助言と実用試験にご協力を戴いた当センター運航チームの段野副指令と無人探査機操縦班の諸氏に謝意を表します。

参考文献

1) 服部陸男：無人探査機「ドルフィン－３Ｋ」について，日本造船学会誌，第704号，昭和63年2月，P.P 28－35.

2) 服部陸男：「深海用ROV ドルフィン－３Ｋの概要」，海洋開発ニュース，Vol. 16, No. 5, 1988年9月号

3) 三井造船株式会社，沖電気工業株式会社：「無人探査機用音響測位装置取扱説明書」及び「同完成図」

4) Kim M. Gulick : THE PERSONAL COMPUTER - A BENEFICIAL TOOL FOR ROV OPERATIONS. Proc. ROV '83

（原稿受理：1988年11月2日）